

УДК 519.876.5

DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-2-0-4

Егоров И.А.¹
Маторин С.И.²
Жихарев А.Г.¹
Зайцев А.Н.¹**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ
В СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНЫХ МОДЕЛЯХ**¹ Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д. 85,
г. Белгород, 308015, Россия² Белгородский университет кооперации, экономики и права, ул. Садовая, д. 116а,
г. Белгород, 308023, Россия*e-mail: zhikharev@bsu.edu.ru, 888615@bsu.edu.ru, matorin@bsu.edu.ru***Аннотация**

В работе рассматривается решение задачи оптимизации в системно-объектной модели для получения максимальной прибыли кондитерской фабрики, которая производит конфеты разных сортов. Построенная имитационная модель представляет собой набор UFO-элементов, которые, в свою очередь, представляют собой части конвейерных линий по производству трех марок конфет. Функциональные узлы описываются с помощью специального языка описания функциональных узлов, позволяющего имитировать работу отдельных подсистем конвейера. На разработанной модели проводится эксперимент для выявления максимальной прибыли и динамики ее получения в результате применения симплекс-метода.

Ключевые слова: функционирующая система; задачи оптимизации; состояние системы; имитационная модель; динамика системы; графоаналитическое моделирование; «UFOModeler».

UDC 519.876.5

Egorov I.A.¹
Matorin S.I.²
Zhikharev A.G.¹
Zaitsev A.N.¹**SOLVING OPTIMIZATION PROBLEMS
IN SYSTEM-OBJECT MODELS**¹ Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia² Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, 116a Sadovaya St., Belgorod, 308023, Russia*e-mail: zhikharev@bsu.edu.ru, 888615@bsu.edu.ru, matorin@bsu.edu.ru***Abstract**

The article deals with the problem of the optimization problem in the system-object model for maximum profit confectionery factory that produces different varieties of candy. The built simulation model is a set of UFO-elements, which, in turn, are part of the conveyor lines for the production of three brands of candy. Functional nodes are described using a special language for describing the functional nodes, which allows to simulate the operation of individual subsystems of the conveyor. On the developed model the experiment is carried out to identify the maximum profit and dynamics of its production as a result of the simplex method.

Keywords: the functioning system; optimization problems; a condition of system; imitating model; dynamics of system; graphic-analytical modeling; «UFOModeler».

ВВЕДЕНИЕ

Применение имитационного моделирования часто рассматривается в контексте решения задач оптимизации функционирования различных систем. Как правило, решение подобных задач

сводится к проведению серии экспериментов над имитационной моделью с целью определения оптимальных параметров функционирования системы по заранее заданным критериям оптимальности. На данном этапе, как правило, при реализации имитационной модели разработчики прибегают к использованию методов линейного программирования. Применение методов линейного программирования в моделировании позволяет отслеживать из множества возможных решений наиболее приемлемое с точки зрения экономической и технологической составляющих. При этом процесс оптимизации состоит в поиске экстремума (минимума или максимума) целевой функции при наличии ограничивающих равенств или неравенств.

Рассмотрим, какое влияние может оказать оптимизация на производство с экономической точки зрения, выбрав в качестве примера следующую оптимизационную задачу линейного программирования [Балдин и др., 2013]: кондитерская фабрика выпускает три марки конфет: «Сласть», «Ласточка», «Ромашка». Для выпуска продукции используются три вида ингредиентов: какао, молоко, сахар. Запасы ингредиентов ограничены: какао имеется в количестве 2660 единиц, молоко – в количестве 2000 единиц, сахар – в количестве 3030 единиц. Известны нормы расхода ингредиентов на единицу продукции. Для выпуска одной конфеты «Сласть» требуется 2 единицы какао, 1 единица молока, 3 единицы сахара. Для выпуска конфеты «Ласточка» требуется 1 единица сырья какао, 3 единицы молока, 4 единицы сахара. Для выпуска конфеты «Ромашка» требуется 3 единицы какао, 2 единицы молока, 1 единица сахара. Известна прибыль от реализации одной конфеты каждой марки: «Сласть» приносит прибыль в размере 20 у.е., «Ласточка» – в размере 24 у.е., «Ромашка» – в размере 28 у.е. Требуется определить оптимальное количество выпуска конфет трех марок, исходя из ограничений по запасам ингредиентов, чтобы прибыль от их реализации была максимальной.

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНОЙ МОДЕЛИ

Для демонстрации процесса выпуска продукции построим системно-объектную имитационную модель технологического процесса по производству кондитерских изделий с применением программного инструментария «UFOModeler».

Создаваемая модель является интерфейсной, то есть может рассматриваться как функция объекта более высокого яруса (т.е. надсистемы). При этом связи данной системы с другими системами – функциональные, связи между подсистемами данной системы – поддерживающие [Алексеева, 2014].

Для описания связей разрабатываемой модели опишем множество потоковых объектов L , которое состоит из элементов l_n , где l_n – потоковые объекты (связи), а множество R содержит элементы r_n , обозначающие поля потоковых объектов, согласно положениям СОМПЗ [Маторин и др., 2017]. Множество L при этом примет вид:

$$L = \{l_1 = [r_1^1], l_2 = [r_2^1], l_3 = [r_3^1], l_4 = [r_4^1], l_5 = [r_5^1]\}, \quad (1)$$

где:

- l_1 – потоковый объект «сахар»;
- l_2 – потоковый объект «молоко»;
- l_3 – потоковый объект «какао»;
- l_4 – потоковый объект «конфеты»;
- l_5 – потоковый объект «прибыль».

При этом представим элементы множества R в виде пар: $r_n^{kn} = [\text{идентификатор, значение}]$. Тогда по условию задачи, множество R примет следующий вид:

$$R = \{r_1^1 = [\text{колво, 2660}], r_2^1 = [\text{колво, 2000}], r_3^1 = [\text{колво, 3030}], r_4^1 = [\text{штук, 0}], r_5^1 = [\text{уе, 0}]\} \quad (2)$$

УФО-модель представляет систему, состоящую из специальных узловых объектов, в виде триединой конструкции «Узел-Функция-Объект» (УФО-элемента), где:

- узел – структурный элемент надсистемы в виде перекрестка связей данной системы с другими системами;
- функция – динамический (функциональный) элемент надсистемы, выполняющий определенную роль с точки зрения поддержания надсистемы путем балансирования связей данного узла;
- объект – субстанциальный элемент надсистемы, реализующий данную функцию в виде некоторого материального образования, обладающий конструктивными, эксплуатационными и т.д. характеристиками [Маторин и др, 2017].

Приведем общее функциональное назначение узловых объектов модели. Узел «какао» в качестве входящих связей имеет одноимённую связь, а в качестве исходящих – имеет три связи с порядковыми номерами «какао1», «какао2», «какао3». Объектом узла является «раздаточная лента Какао». Функция данного объекта распределяет ингредиенты для всех марок конфет согласно условию задачи. Узловые объекты «молоко», «сахар» имеют аналогичные связи и схожее функциональное назначение.

Узел «Сласть» в качестве входящих имеет связи «какао1», «молоко1», «сахар1», в качестве исходящих – связи «конфеты1» и «прибыль1». Объектом узла является конвейер по созданию конфет марки «Сласть». Функция объекта моделирует изготовление из ингредиентов конфеты, при этом ведется подсчет количества конфет и прибыли от их реализации. Узловые объекты «Ласточка», «Ромашка» имеют аналогичные связи и схожее функциональное назначение.

Рассмотрим программную реализацию функции узлового объекта «Сласть» (рис. 1).

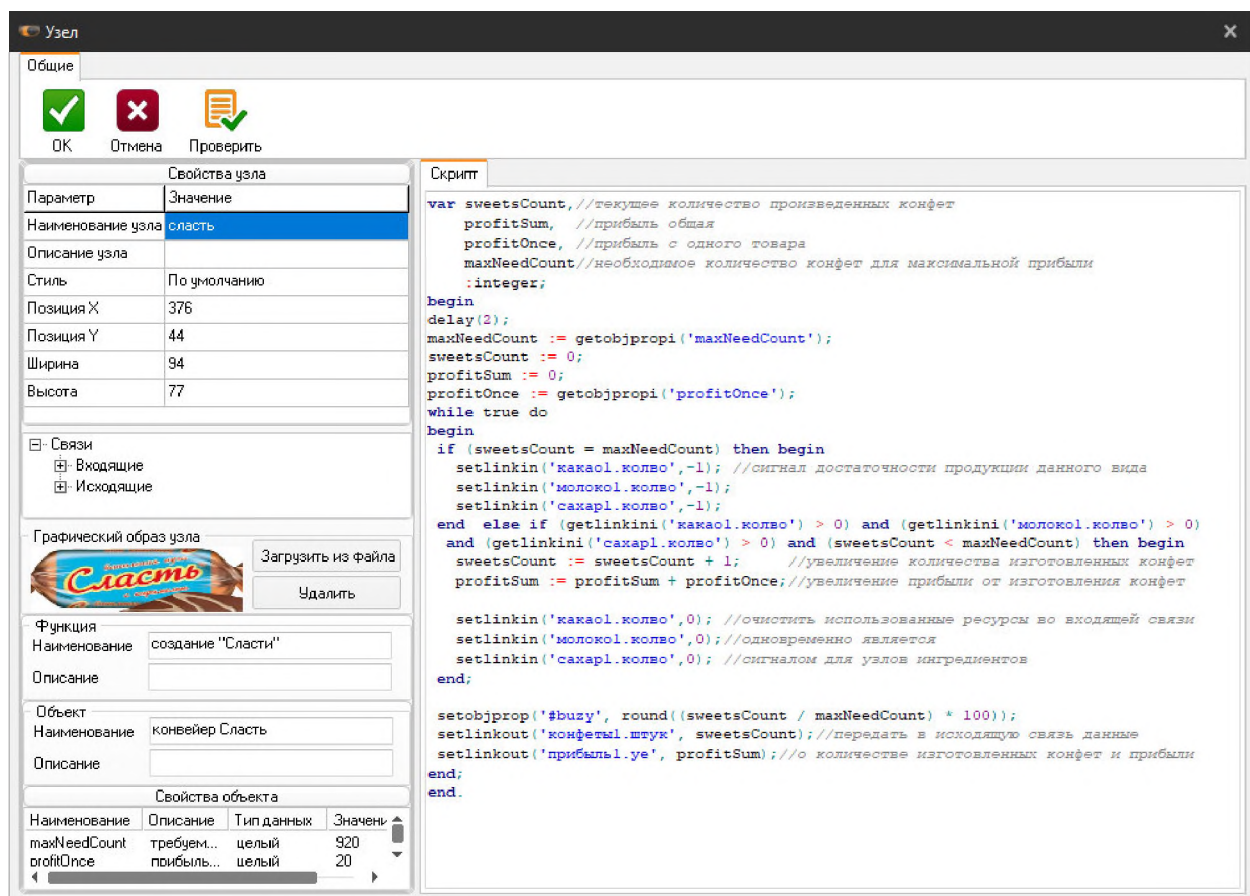


Рис. 1. Программный код функции выпуска конфеты

Fig. 1. Candy release function code

Узел «Конфеты» в качестве входных имеет связи «конфеты1», «конфеты2», «конфеты3», в качестве исходящей используется связь «конфеты». Объектом является счетчик количества конфет. Функция объекта выполняет суммирование всех произведенных конфет.

Для расчета общей прибыли от производства всех конфет используется узловой объект «Прибыль» его функциональность аналогична узловому объекту «Конфеты».

Опишем УФО-элементы разрабатываемой модели s_n через множество S , согласно положениям СОМПЗ [Маторин и др., 2017]:

$$S = \{s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7, s_8\} \quad (3)$$

где:

- s_1 – узловой объект «какао»;
- s_2 – узловой объект «молоко»;
- s_3 – узловой объект «сахар»;
- s_4 – узловой объект «сласть»;
- s_5 – узловой объект «ласточка»;
- s_6 – узловой объект «ромашка»;
- s_7 – узловой объект «конфеты»;
- s_8 – узловой объект «прибыль».

В качестве примера представим элемент s_4 (узловой объект «сласть») в виде совокупности множеств:

$$s_4 = [L_?, L_!, f(L_?)L_!, O_?, O!, O_f] \quad (4)$$

где:

- $L_?$ – множество входящих потоковых объектов $L_? = \{l_1, l_2, l_3\}$, где l_1 – «какао1», l_2 – «молоко1», l_3 – «сахар1»;
- $L_!$ – множество исходящих потоковых объектов $L_! = \{l_1, l_2\}$, где l_1 – «конфеты1», l_2 – «прибыль1»;

– $f(L_?)L_!$ – метод преобразования входящих потоковых объектов в исходящие (метод представлен на рисунке 1);

– $O_?$ – множество полей интерфейсных входных характеристик объекта (параметров связей) $O_? = \{o_1 = [\text{какао1.колво}, 0], o_2 = [\text{молоко1.колво}, 0], o_3 = [\text{сахар1.колво}, 0]\}$;

– $O!$ – множество полей интерфейсных выходных характеристик объекта (параметров связей) $O! = \{o_1 = [\text{конфеты1.штук}, 0], o_2 = [\text{прибыль1.уе}, 0]\}$;

– O_f – множество свойств объекта, реализуемых в методе: «maxNeedCount» – необходимое количество конфет для максимальной прибыли; «profitOnce» – прибыль с одной конфеты.

Проведем эксперимент на модели, выясним, как влияет ограничение количества выпускаемых конфет на получаемую прибыль. Запустим модель на выполнение, в которой каждый конвейер параллельно выпускает конфеты, пока существуют ингредиенты (рис. 2).

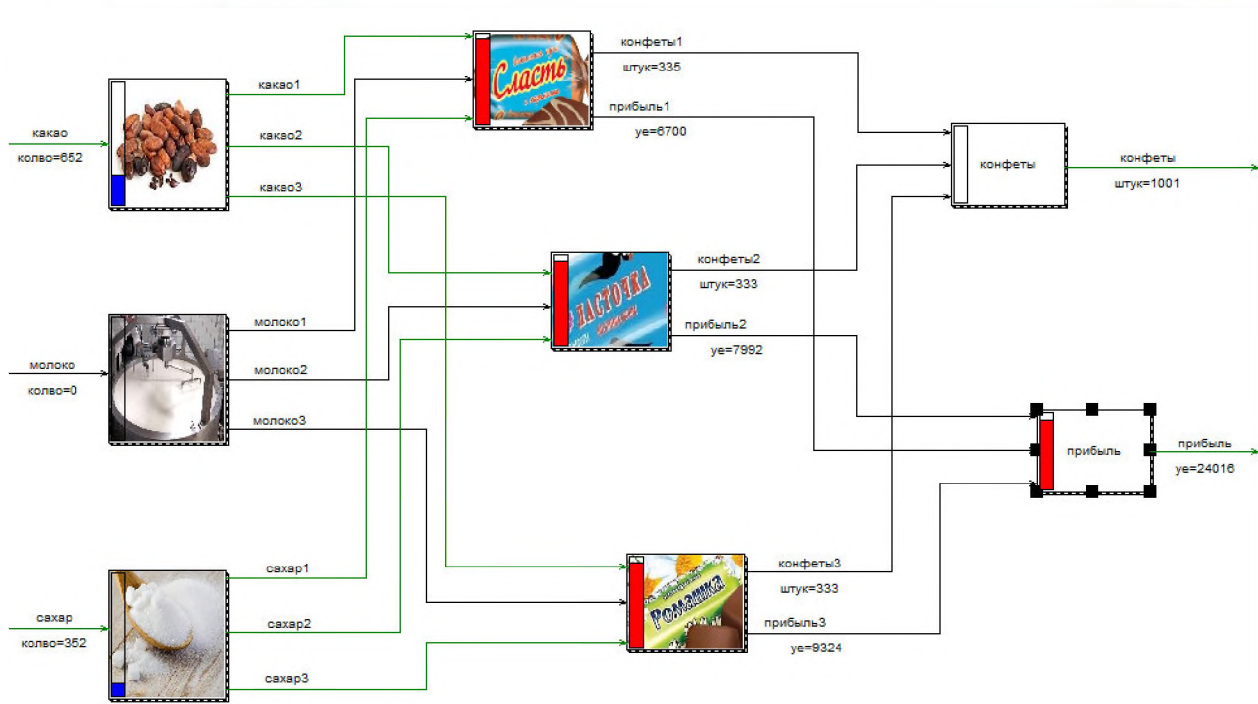


Рис. 2. Результат имитации неоптимизированного производства
Fig. 2. Result of simulation of non-optimized production

Как видно из модели при параллельном производстве было выпущено 335 конфет марки «Сладость», и по 333 конфеты марок «Ласточка» и «Ромашка». При этом прибыль составила 24016 у.е.

ПРИМЕНЕНИЕ СИМПЛЕКС-МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИИ К ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Для нахождения оптимального решения воспользуемся симплекс-методом [Кузнецов и др., 2013]. Вследствие применения данного метода для расчетов мы получили, что максимальная прибыль может составить 25960 у.е. Для этого необходимо наладить выпуск 920 конфет марки «Сладость» и 270 конфет «Ромашка». При этом конфеты марки «Ласточка» выпускать не следует вообще.

Для того чтобы получить максимальную прибыль в модели, зададим выпуск необходимого количества конфет через свойство объектов конвейеров «maxNeedCount» равным найденным значениям (рис. 3).

| | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|------------|------------|----------|---------------------------------|------------|------------|----------|--------------------------------|------------|------------|----------|
| Объект | | | | Объект | | | | Объект | | | |
| Наименование: конвейер Сладость | | | | Наименование: конвейер Ласточка | | | | Наименование: конвейер Ромашка | | | |
| Описание: | | | | Описание: | | | | Описание: | | | |
| Свойства объекта | | | | Свойства объекта | | | | Свойства объекта | | | |
| Наименование | Описание | Тип данных | Значение | Наименование | Описание | Тип данных | Значение | Наименование | Описание | Тип данных | Значение |
| maxNeedCount | требуем... | целый | 920 | maxNeedCount | требуем... | целый | 0 | maxNeedCount | требуем... | целый | 270 |
| profitOnce | прибыль... | целый | 20 | profitOnce | прибыль... | целый | 24 | profitOnce | прибыль... | целый | 28 |

Рис. 3. Установка ограничений на выпуск продукции
Fig. 3. Setting limits on production

Запустим модель на выполнение во второй раз. В результате работы модели получена максимальная прибыль в размере 25960 у.е. Таким образом, при использовании оптимальной модели удалось извлечь дополнительную прибыль в размере 1944 у.е.

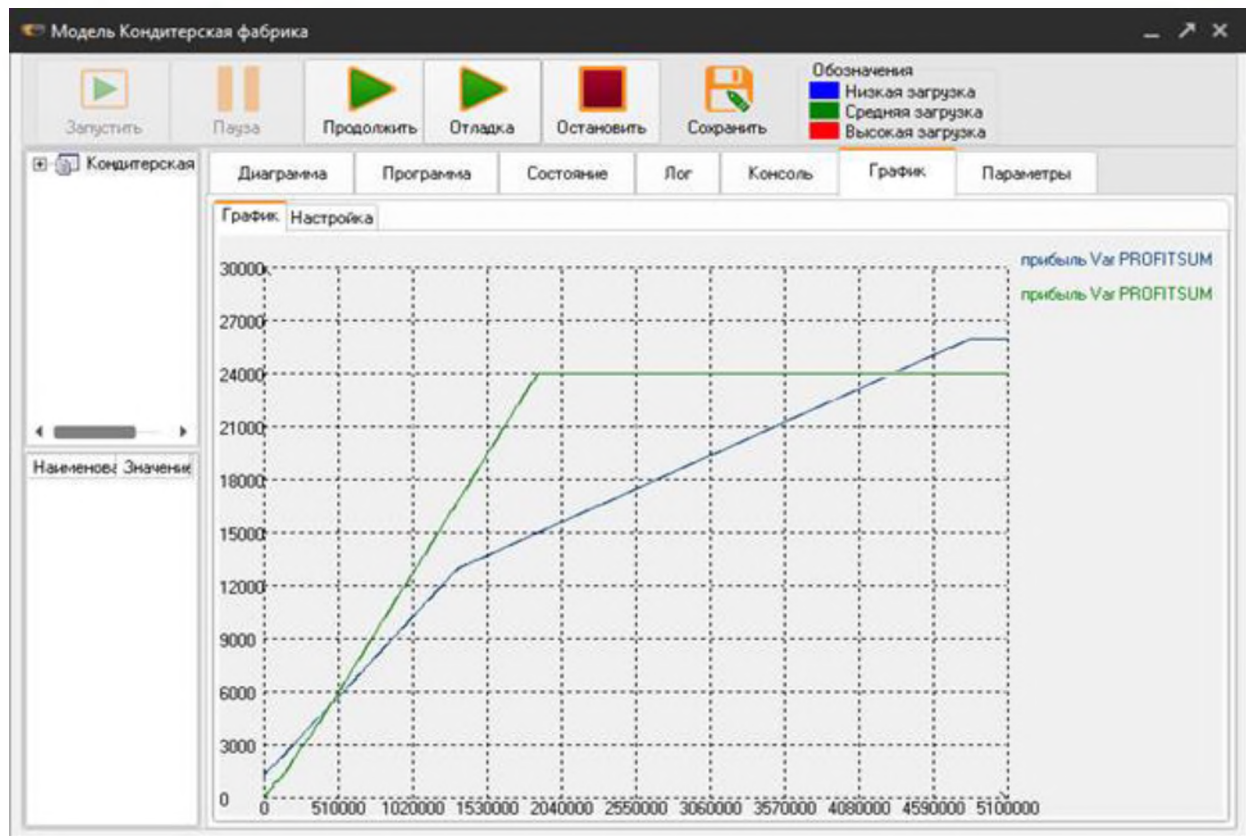


Рис. 4. Сравнение скорости поступления прибыли
Fig. 4. A comparison of the rate of profit

Построим график поступления прибыли в зависимости от времени: зеленым цветом показан выпуск без ограничений на производство продукции, синим цветом график максимальной прибыли при выпуске конфет. Прибыль на графике представлена по оси ординат (рис. 4).

Из графика следует, что при производстве оптимального количества конфет трех марок прибыль была увеличена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стоит отметить, что динамика роста прибыли отличается в значительной степени, это связано с неравномерной нагрузкой конвейерных линий по производству разных сортов конфет. Фактор времени, как ограничение, в задаче не учитывается, поэтому данное производство является оправданным.

Таким образом, созданная имитационная УФО-модель показывает, что решение, найденное с помощью симплекс-метода, является оптимальным по отношению к выпуску без ограничения по количеству продукции.

Список литературы

1. Zhikharev, A.G., Matorin, S.I., Zaitseva, N.O. 2015. About perspectives of simulation technological processes functioning with using system-object approach node-function-object. International Journal of Applied Engineering Research, 10(12): 31363-31370.
2. Zhikharev A.G., Matorin S.I., Zimovets O.A., Zhikhareva M.S., Rakov V.I. 2016. The simulation modeling of systems taking into account their internal parameters change. International Journal of Pharmacy & Technology, 8(4): 26933-26945.
3. Алексеева, О.А. Теория систем и системный анализ: учебно-методическое пособие / О.А. Алексеева. – Челябинск: НОУВПО РБИУ, 2014. – 245 с.

4. Алиев Р.А. 1990. Производственные системы с искусственным интеллектом. М., Радио и связь.
5. Балдин, К.В. Математическое программирование: Учебник / К.В. Балдин, Н.А. Брызгалов, А.В. Рукусев / Под общ. ред. д.э.н., проф. К.В. Балдина. – 2-е изд. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2013. – 220 с.
6. Бочеввер Ф.М., Гармонов И.В., Лебедев А.В., Шестаков В.М., 1969. Основы гидрологических расчетов. М., издательство «Недра», 368.
7. Бузов П.А., Жихарев А.Г., Корчагина К.В. 2016. О перспективах имитационного моделирования функционирования систем. Сборник тезисов докладов XLII Международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения-2016», Том 1, Москва, 398.
8. Жихарев А.Г., Болгова Е.В., Гурьянова И.В., Маматова О.П. 2014. О перспективах развития системно-объектного метода представления организационных знаний. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 1(172): 110-114
9. Жихарев А.Г., Зайцева Н.О., Маторин С.И. 2013. О новом графоаналитическом методе имитационного моделирования Материалы научно-технической конференции «Кибернетика и высокие технологии 21 века» (С&Т*2013), 14-15 мая 2013 г., том 1, 404.
10. Жихарев А.Г., Корчагина К.В., Бузов П.А., Акулов Ю.В., Жихарева М.С. 2016. Об имитационном моделировании производственно-технологических систем. Сетевой журнал Научный результат, серия Информационные технологии. 3(3): 25-31.
11. Жихарев А.Г., Маторин С.И. 2014. Системно-объектное моделирование технологических процессов. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 21(192): 137-141.
12. Жихарев А.Г., Маторин С.И., Зайцева Н.О. 2015. Системно-объектное имитационное моделирование транспортных и технологических процессов. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 7(204): 159-169.
13. Жихарев А.Г., Маторин С.И., Зайцева Н.О. 2015. Системно-объектный инструментарий для имитационного моделирования технологических процессов и транспортных потоков. Искусственный интеллект и принятие решений. 4: 95-103.
14. Жихарев А.Г., Маторин С.И., Маматов Е.М., Смородина Н.Н. 2013. О системнообъектном методе представления организационных знаний. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 8(151): 137-146.
15. Кузнецов А.В., Сакович В.А., Холод Н.И. Высшая математика. Математическое программирование / Под общ. ред. А. В. Кузнецова: Учебник. 4-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 352 с.
16. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Зайцева Н.О., Брусенская И.Н. 2013. Имитационное моделирование транспортных потоков с применением УФО-подхода. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 22(165): 148-153.
17. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Зимовец О.А. Исчисление объектов в системно-объектном методе представления знаний // Искусственный интеллект и принятие решений. – М.: Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН – 2017. – №3. – С. 104-115
18. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Зимовец О.А. 2016. Системно-объектное моделирование адаптации эволюции экономических систем. Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. 4(60): 81-92.
19. Маторин С.И., Попов А.С., Маторин В.С. 2005. Моделирование организационных систем в свете нового подхода «Узел-Функция-Объект». НТИ. Сер. 2. 1: 1-8.
20. Маторин С.И., Попов Э.В. 2002. Анализ и моделирование бизнес-систем: системологическая объектно-ориентированная технология. Харьков, ХНУРЭ, 322.

References

1. Zhikharev, A.G., Matorin, S.I., Zaitseva, N.O. 2015. About perspectives of simulation technological processes functioning with using system-object approach node-function-object. International Journal of Applied Engineering Research, 10(12): 31363-31370.

2. Zhikharev A.G., Matorin S.I., Zimovets O.A., Zhikhareva M.S., Rakov V.I. 2016. The simulation modeling of systems taking into account their internal parameters change. *International Journal of Pharmacy & Technology*, 8(4): 26933-26945.
3. Alekseeva, O.A. *systems Theory and system analysis: textbook* / O.A. Alekseeva. – Chelyabinsk: NOUVPO RBIU, 2014. – 245 p.
4. Aliev R.A. 1990. *Production systems with artificial intelligence*. M., Radio and Communication (in Russian)
5. Baldin, K.V. *Mathematical programming: a Textbook* / K.V. Baldin, N.A. Bryzgalov, A.V. Rukosuev / Under the General editorship of doctor of Economics, Professor K.V. Baldin. 2nd ed. – Moscow: Publishing and trading Corporation Dashkov & Co., 2013. – 220 p.
6. Bochever F.M., Garmonov I.V., Lebedev A.V., Shestakov V.M. 1969. *Fundamentals of hydrological calculations*. M., publishing house "Nedra", 368. (in Russian)
7. Buzov P.A., Zhikharev A.G., Korchagina K.V. 2016. On the prospects of simulation of the functioning of systems. *Collected theses of the reports of the XLII International Youth Scientific Conference "Gagarin Readings-2016"*, Volume 1, Moscow, 398. (in Russian)
8. Zhikharev A.G., Bolgova E.V., Guryanova I.V., Mamatova O.P. 2014. On the perspectives of the development of the system-object method of representing organizational knowledge. *Scientific bulletins of the Belgorod State University. Ser. History. Political science. Economy. Information technologies*. 1(172): 110-114 (in Russian)
9. Zhikharev A.G., Zaitseva N.O., Matorin S.I. 2013. On the new graphoanalytical method of imitating modeling Materials of the scientific and technical conference "Cybernetics and High Technologies of the 21st Century" (C & T * 2013), May 14-15, 2013, Volume 1, 404. (in Russian)
10. Zhikharev A.G., Korchagina K.V., Buzov P.A., Akulov Yu.V., Zhikhareva M.S. 2016. On the simulation of production and technological systems. *Network Journal Reserch Result. Information Technology*. 3(3): 25-31. (in Russian)
11. Zhikharev A.G., Matorin S.I. 2014. System-object modeling of technological processes. *Scientific bulletins of Belgorod State University. Ser. History. Political science. Economy. Information technologies*. 21(192): 137-141. (in Russian)
12. Zhikharev A.G., Matorin S.I., Zaitseva N.O. 2015. System-object simulation of transport and technological processes. *Scientific bulletins of the Belgorod State University. History. Political science. Economy. Information technologies*. 7(204): 159-169. (in Russian)
13. Zhikharev A.G., Matorin S.I., Zaitseva N.O. 2015. System-Object Toolkit for Simulation of Technological Processes and Transport Streams. *Artificial Intelligence and Decision Making*. 84: 95-103. (in Russian)
14. Zhikharev A.G., Matorin S.I., Mamatov E.M., Smorodina N.N. 2013. On the system-object method of representing organizational knowledge. *Scientific bulletins of Belgorod State University. Ser. History. Political science. Economy. Information technologies*. 8(151): 137-146. (in Russian)
15. Kuznetsov A.V., Sakovich V.A., Kholod N.I. *The higher mathematics. Mathematical programming Under the General editorship of A.V. Kuznetsov: the Textbook*. 4th ed. – SPb.: Publishing House "Fallow Deer", 2013. – 352 p.
16. Matorin S.I., Zhikharev A.G., Zaitseva N.O., Brusenskaya I.N. 2013. Simulation modeling of transport streams with application of the UFO approach. *Scientific bulletins of Belgorod State University. Ser. History. Political science. Economy. Information technologies*. 22(165): 148-153. (in Russian)
17. Matorin S.I., Zhikharev A.G., O.A. Zymovets *Calculation objects in a system-object method of knowledge representation // Artificial intelligence and decision-making*. – Moscow: Federal research center "Informatics and management" of RAS – 2017. – No. 3. – P. 104-115.
18. Matorin S.I., Zhikharev A.G., Zimovets O.A. 2016. System-object modeling of the adaptation of the evolution of economic systems. *Bulletin of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law*. 4(60): 81-92. (in Russian)
19. Matorin S.I., Popov A.S., Matorin V.S. 2005. Modeling of organizational systems in the light of the new "Node-Function-Object" approach. *STI. Ser. 2. 1: 1-8* (in Russian)
20. Matorin S.I., Popov E.V. 2002. *Analysis and modeling of business systems: a systemological object-oriented technology*. Kharkov. KHNURE, 322. (in Russian)

Егоров Илья Александрович, аспирант кафедры прикладной информатики и информационных технологий
Маторин Сергей Игоревич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем и технологий

Жихарев Александр Геннадиевич, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных и робототехнических систем

Зайцев Анатолий Николаевич, аспирант кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Egorov Ilya Aleksandrovich, PhD student at the Department of Applied Informatics and Information Technologies

Matorin Sergey Igorevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Systems and Technologies

Zhikharev Alexander Gennadievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Robotics Systems

Zaitsev Anatolij Nikolaevich, PhD student at the Department of Applied Informatics and Information Technologies